

貯留堰堤基礎の置換施工例

The Construction Example of Replacing the Foundation for the Disposal Dam

原 政明* 神田 隆雄*
Masaaki Hara Takao Kanda
富岡 直人*
Naoto Tomioka

要 約

本工事は、一般廃棄物最終処分場の貯留堰堤としてコンクリートダムを築造するものである。当該堰堤の直下を九州新幹線が通過するためトンネル部を補強する必要が生じた。岩着面を18m掘下げて構造的にトンネルに影響がある部分はコンクリートで構築し、影響のない範囲は改良土で計画基盤高まで置換える工法を採用した。改良土の上にコンクリート堰堤を構築するため、改良土の支持力確保と圧密沈下の抑制が重要となる。本報告は、堰堤基礎部の地盤改良の試験施工と実施工について報告するものである。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 概 要
- § 3. 試験施工
- § 4. 本施工
- § 5. まとめ

§ 1. はじめに

近年、環境問題に対する人々の関心が高く、最終処分場の建設は種々の公害発生の懸念等により近隣住民の理解が得られにくくなっている。このため建設地の選定も容易ではなく計画されても地元住民の反対運動等障害が多い。こうした中、今回工事をした場所は昭和64年から共用されている既設処分場に隣接した場所であり近隣の理解が比較的得られやすい状況にあった。

しかし、既設処分場および工事場所には九州新幹線の小塚トンネルが計画されており、ルートは新設される処分場の埋立地および堰堤直下を通過する計画となっていた。このため、埋立地直下は鉄道建設公団によるアースカルバート工法による補強が施され、堰堤直下は本工事により堰堤コンクリートによるトンネル補強を行った。トンネル部を規定盤より18.0m下げてトンネルを箱抜きするように堰堤コンクリートを構築し、一般部を改良土により施工した(図-2参照)。

本報では、堰堤の基礎地盤となる置換工についての試

験施工および実施工に関する報告をする。

§ 2. 概 要

2-1 工事概要

工場名	次期最終処分場貯留堰堤建設工事	
発注者	熊本市	
工事場所	熊本市貢町地内	
工 期	平成11年9月9日～平成14年3月15日	
工事内容	掘削(土砂・軟岩)	V=234,600m ³
	盛土(改良土)	V=36,710m ³
	堰堤コンクリート	V=70,919m ³
	埋立地排水(φ500～φ1,100)	L=375m

2-2 地 質

施工地点のダム軸方向縦断図を図-1に示す。左岸EL57.0m～右岸EL32.0mに層厚約10mのCM級岩盤が存在するが、その下にD級岩盤とCL級岩盤が交互に存在する。トンネル部の基礎岩盤はCL級、右岸置換部の基礎岩盤はCM級となっている(図-1参照)。

2-3 改良材料規定

改良工を人工岩盤と位置づけCM級岩盤をできるだけ掘削せず、その下に存在するD級岩盤の影響を少なくする必要がある。このことから、一般部については堰堤の高さを27mに抑え、不陸整正を兼ねて6m程度の地盤改良工を介して、CM級岩盤に応力を伝達する。堤体からの応力伝達を評価するためFEM解析を実施し

*九州(支)上熊本(出)

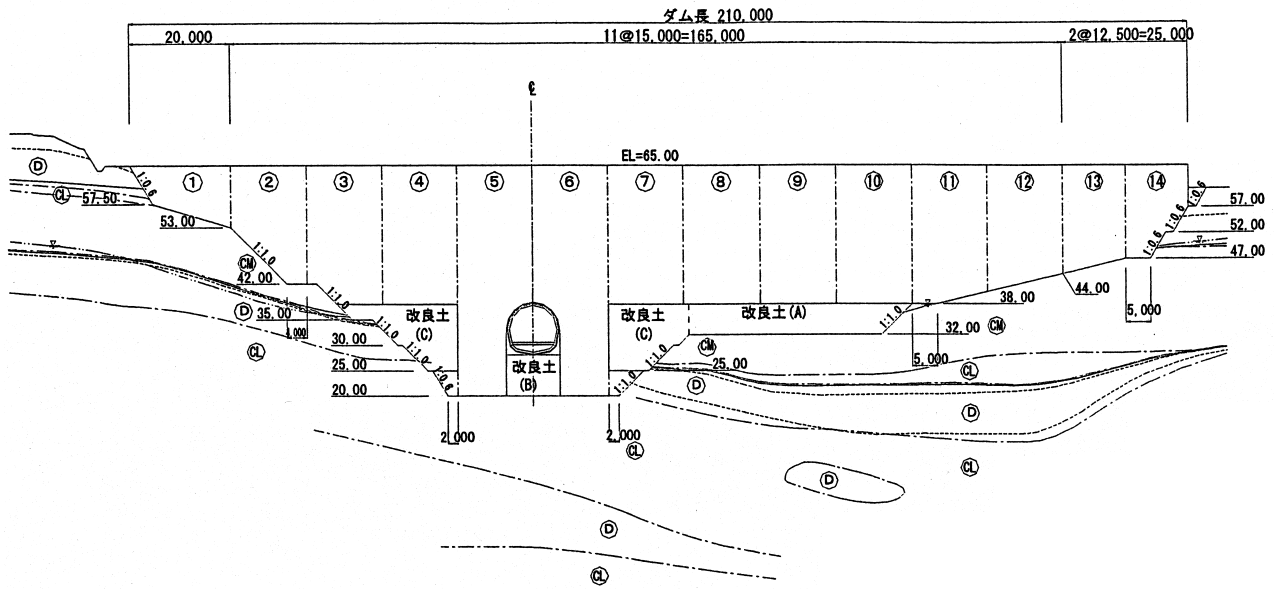


図-1 堰堤縦断面図

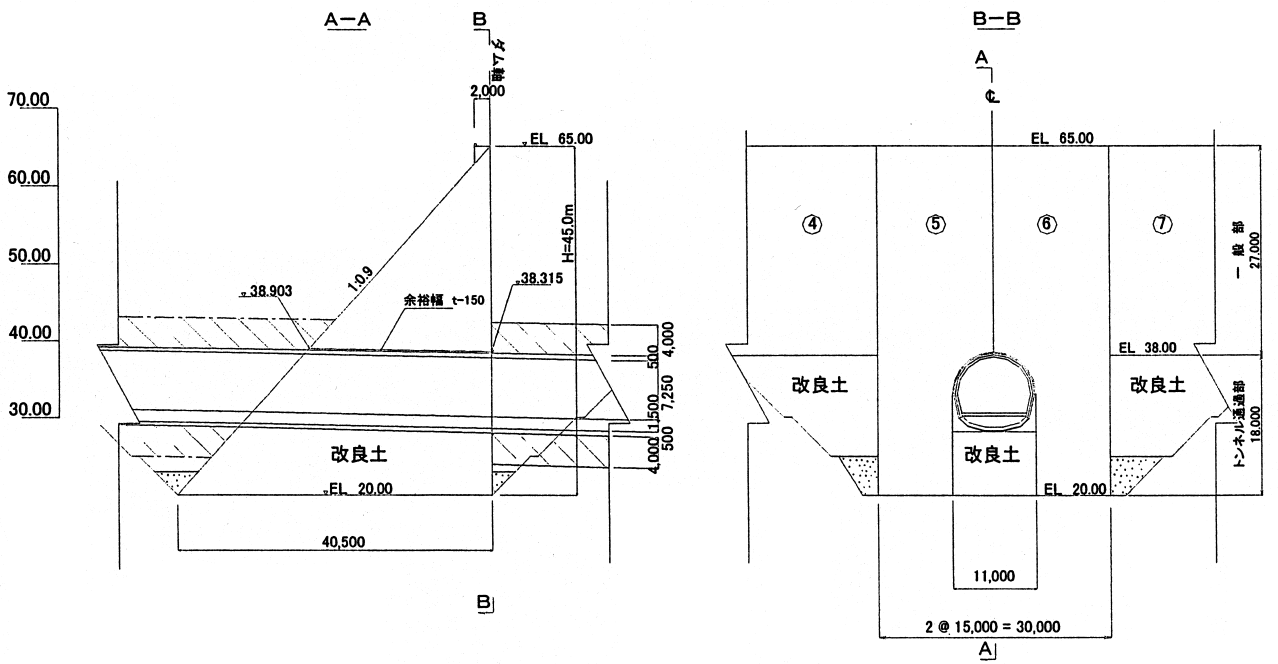


図-2 新幹線部標準断面図

た。その結果、一般部は $1.5\text{N}/\text{mm}^2$ 、トンネル通過部は $2.5\text{N}/\text{mm}^2$ の圧縮応力が発生することが予想された。これを基に室内試験よりセメント添加量 $150\text{kg}/\text{m}^3$ で $6\text{N}/\text{mm}^2$ が確認できた。改良体設計基準強度（安全率4）から一般部のみを改良土仕様とし、トンネル通過部は全てコンクリート打設仕様とした。以下に材料規定を示す。

- 改良土：溶結凝灰岩（CM級）
- 固化材：高炉セメントB種
- 改良強度：一軸圧縮強度 $q_u = 1.5\text{N}/\text{mm}^2$ （現場改良

- 強度)
- 添加量： $80\sim 180\text{kg}/\text{m}^3$ （試験施工による）
- 2-4 締固め規定
- 品質規定：乾燥密度規定
- 締固め度：最大乾燥密度（ ρ_{dmax} ）の95%以上
- 施工時の含水比：最適含水比と上記の締固め度の得られる湿潤側の含水比の範囲
- 施工層厚：20cm以下

§ 3 試験施工

締固め度および一軸圧縮強度を満足するための施工機械と転圧回数および固化材の配合量を決定するために試験施工を実施した。セメントの混合方法は経済性を考慮し、スタビライザーによるフィールド混合とし、配合量および土質を変えて6種類の改良材について行った。使用材料は事前にジョークラッシャーで100mm以下に小割りしたものを使用した。使用材料の組合わせを表一に示す。

3-1 施工方法

(1) ヤード造成

置換盛土はCLまたはCM級岩盤に施工するため試験施工も同様の条件で行う必要がある。そのため施工ヤードに現地発生岩で盛土を行い堅固な地盤を造り、試験施工前の平板載荷試験で $K_{30} = 2.89\text{N/mm}^2$ を得た。試験ヤードは6種類の改良土を盛土するため6面用意し、各々ブルドーザー(21t)と振動ローラ(10t)で転圧できるようにした。

(2) セメント散布

場内に設置したセメントサイロよりセメントローリー車に必要量積込み、サイクロンにフレキシブルホースで圧送し、移動しながらレーキで均一に敷均した。なお、セメントサイロには、印字計を設置し、使用量の確認、記録ができるようにした。

(3) 攪拌

攪拌はスタビライザー(w=2.0m, h=0.6m)を使用した。ローターの回転数を60rpm、進行速度を3m/minとし1往復を基本とし、混合むらが認められた場合は再攪拌した。

(4) 敷均・締固め

改良土をブルドーザー(21t)で敷均し、ブルドーザーによる転圧と振動ローラによる転圧をそれぞれ偶数回行いどちらかの機械で規定の締固め度が得られるまで転圧した。

3-2 試験結果

(1) 転圧回数

RIによる測定結果より、締固め度は振動ローラによる4~8回の転圧でほとんどの土質で確認されたが、ブルドーザーによる転圧では規定値を超えることはなかった。

(2) 固化材の添加量

一軸圧縮強度試験より、添加量 150kg/m^3 で現場製作した供試体は $q_u = 6.93\text{N/mm}^2$ を得たが、これは室内配合試験の結果と同等の高い強度であり、実際に現地でコア採取した供試体の一軸圧縮強度は $q_u = 2.66\text{N/mm}^2$ であった。コア採取した供試体が現場製作した供試体の

表一 改良土配合表

番号	改良対象土	単位	固化材量
①	CM級溶結凝灰岩:CL級現場発生土=1:1	kg/m ³	80
②	〃		150
③	CM級溶結凝灰岩のみ		80
④	〃		100
⑤	〃		150
⑥	〃		180

表二 試験施工結果一覧表(1)

番号	セメント添加量及び土質	事前含水比 W(%)	目的含水比 W(%)	現場密度試験(RI)				一軸圧縮試験 q_u (N/mm ²)			
				転圧区分	転圧回数	含水比 %	乾燥密度 ρ_d g/cm ³	締固め度 %	番号	7日	28日
①	80kg/m ³	27.3	29.3	ブル転圧	2	18.2	1.168	85.1	①	2.64	2.13
					4	22.2	1.249	91.1	②	2.66	2.38
					6	18.6	1.259	91.7	③	2.15	2.98
	CM級+CL級			振動ローラ転圧	2	22.9	1.249	91.1	平均	2.48	2.50
					4	18.9	1.290	94.0			
					6	20.8	1.337	97.5			
②	150kg/m ³	25.9	29.3	ブル転圧	2	20.3	1.173	85.5	①	4.96	5.64
					4	18.3	1.205	87.9	②	4.36	6.05
					6	19.0	1.226	89.4	③	5.04	6.54
	CM級+CL級			振動ローラ転圧	2	22.0	1.253	91.4	平均	4.79	6.08
					4	15.1	1.261	91.9			
					6	22.4	1.302	94.9			
③	80kg/m ³	26.4	29.3	ブル転圧	2	21.2	1.222	89.1	①	1.28	2.22
					4	18.3	1.254	91.4	②	1.80	2.61
					6	20.2	1.275	92.9	③	1.43	2.10
	CM級			振動ローラ転圧	2	20.3	1.265	92.2	平均	1.50	2.31
					4	19.8	1.316	95.9			
					6	21.4	1.327	96.7			
④	100kg/m ³	33.6	29.3	ブル転圧	2	25.6	1.210	88.2	①	2.16	2.93
					4	19.3	1.225	89.3	②	2.24	3.45
					8	18.3	1.287	93.8	③	2.18	3.67
	CM級			振動ローラ転圧	2	25.8	1.271	92.6	平均	2.19	3.35
					4	24.5	1.280	93.3			
					8	21.4	1.324	96.5			
⑤	150kg/m ³	20.6	29.3	ブル転圧	2	20.6	1.219	88.8	①	5.68	7.18
					4	17.8	1.230	89.7	②	6.06	6.96
					8	27.2	1.284	93.6	③	6.21	6.65
	CM級			振動ローラ転圧	2	18.4	1.245	90.7	平均	5.98	6.93
					4	17.2	1.284	93.6			
					8	19.2	1.326	96.6			
⑥	180kg/m ³	23.3	29.3	ブル転圧	2	20.1	1.227	89.5	①	4.28	4.72
					4	16.2	1.247	90.9	②	3.67	4.06
					6	20.5	1.269	92.5	③	3.68	4.28
	CM級			振動ローラ転圧	2	17.6	1.273	92.8	平均	3.88	4.36
					4	15.6	1.283	93.5			
					6	21.7	1.315	95.9			

38%であり強度を発揮できていない。コア採取時に試料が乱されることを考慮しても大きな差である。この比率

表-2 試験施工結果一覧表(2)

番号	セメント 添加量 および 土質	一軸圧縮(現地コア)		三軸圧縮試験		平板載荷試験						
		28日	振動ローラー 8回転圧部	粘着力 c(N/mm ²)		28日						
				7日	28日							
⑤	150kg/m ³	① 2.08	④ 2.58	2.55	4.61	4回転圧	6回転圧	8回転圧	試験最大荷重(tf/m ²)	169.8	169.8	169.8
		② 2.71	⑤ 3.07			極限支持力(tf/m ²)	生じていない	生じていない		生じていない		
		③ 3.07	⑥ 2.47			許容支持力(N/mm ²)	5.66	5.66		5.66		
	CM 級	平均	2.66	地盤反力係数(kgf/cm ²)	548	205	378					
				最大沈下量(mm)	0.308	0.832	0.445					

表-2 試験施工結果一覧表(3)

番号	セメント 添加量 および 土質	ブロック剪断試験	一面剪断試験	
		粘着力 c (N/mm ²)	粘着力 c (N/mm ²)	内部摩擦 角 φ (度)
		28日	28日	28日
⑤	150kg/m ³	6回転圧部		
		平均		
	CM 級	8回転圧部	8回転圧部	8回転圧部
		平均	0.19	53.0
		0.32		

ををそのまま他の配合にあてはめると他の添加量では強度不足となる。

(3) まとめ

上記2つの理由により土質、セメント添加量を表-1の⑤に決定し、転圧機械・回数を振動ローラーによる8回転圧とした。決定した改良体について支持力特性・変形特性等を確認するために三軸圧縮強度試験、平板載荷試験、ブロック剪断試験、一面剪断試験を実施した(表-2(2)~(3)参照)。

§ 4 本施工

4-1 施工方法

置換工の施工は左岸側用地買収に絡む工程上の都合により(A)~(C)の順に実施した(図-1)。(B)~(C)は堰堤コンクリートの構築にともなって改良土を上げていくがコンクリートの打設リフトより3リフト遅れで施工した。施工フローを図-3に示す。

a. 骨材製造

改良に使用する材料は現地発生土(溶結凝灰岩:CM級)を使用した。ジョークラッシャー(LT100)で最大寸法100mm以下に破碎し(写真-1)改良ヤードに仮置した。溶結凝灰岩の物性値を表-3に表す。

b. 攪拌ヤード造成

セメント散布が均一に行えるようまた、スタビライザーの改良深さが一定となるように改良するヤードの不陸整正を行った。

c. 含水比調整

改良時の含水比が規定範囲内に入るように含水比の調整を行う。締固め試験より

$$\text{最大乾燥密度 } \rho_{dmax} = 1.455\text{g/cm}^3$$

$$\text{最適含水比 } w_{opt} = 24.8\%$$

であり、締固め規定に定める施工時の含水比の範囲は乾燥密度-含水比曲線より24.8%~29.8%となる。溶結凝灰岩の特性上、透水係数が大きく改良の前後で含水比が約2%低下するため、攪拌時に規定範囲内にあるように29%を目安に調整した。

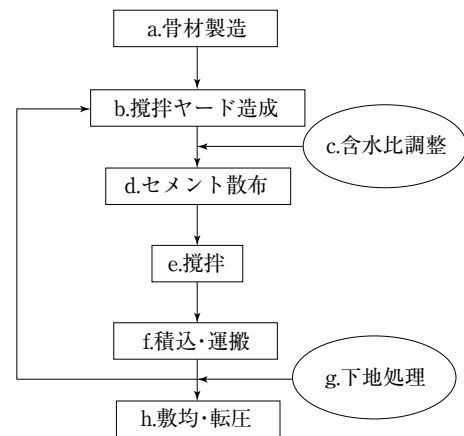


図-3 施工フロー

表-3 溶結凝灰岩の物性値

項目	測定値	項目	測定値
岩質	軟岩	内部摩擦角(度)	φ=32 (26~36)
N値	N=122 (50~300)	湿潤密度(g/cm ³)	ρ _i =1.69 (1.61~1.79)
変形係数(N/mm ²)	D=288 (79.9~6649)	一軸圧縮強度(N/mm ²)	σ _c =4.53 (3.48~6.19)
透水係数(cm/sec)	k=8×10 ⁻⁴ (4×10 ⁻⁵ ~2×10 ⁻³)	静弾性係数(N/mm ²)	E _s =417 (265~680)
粘着力(N/mm ²)	c=0.26 (0.13~0.46)		

表-4 品質管理項目

管理項目	規格値	試験基準
含水比試験	29% (目標)	1回/日
改良材の量と混合程度		1回/日 (改良ヤード測定)
現場密度	95%以上	1回/500m ³
一軸圧縮強度	1.5N/mm ²	1回/500m ³
平板載荷		6ヶ所 σ _{II}
六価クロム	0.05mg/l 以下	1回/1000m ³

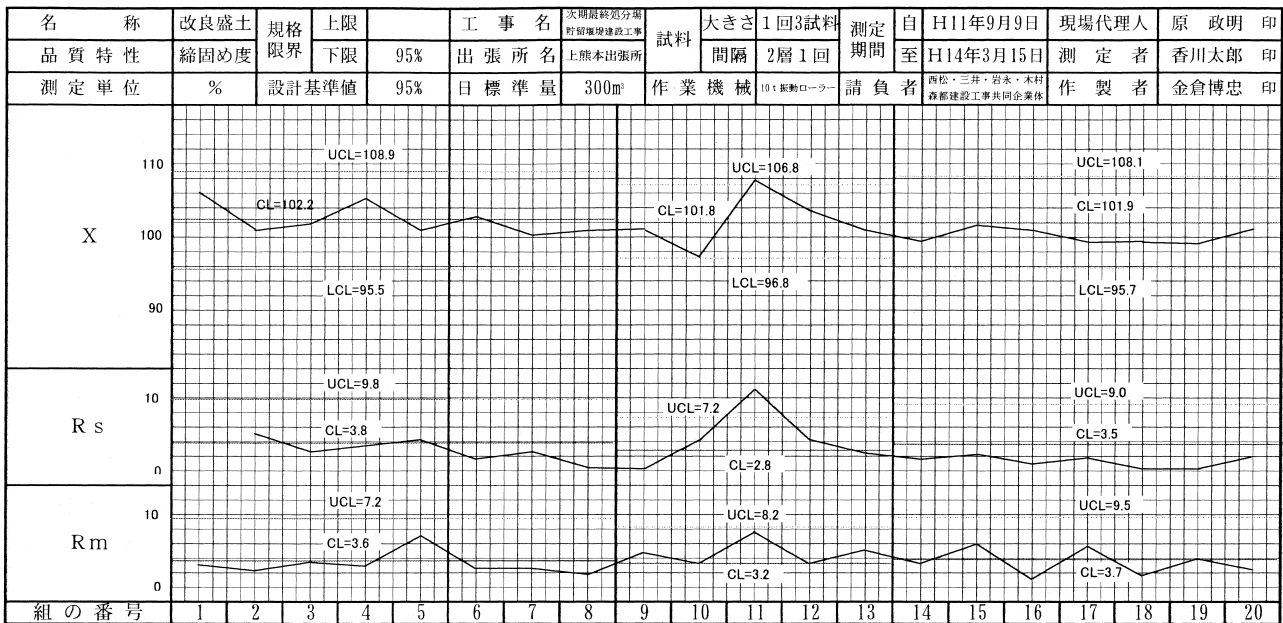


図-4 締固め度管理図

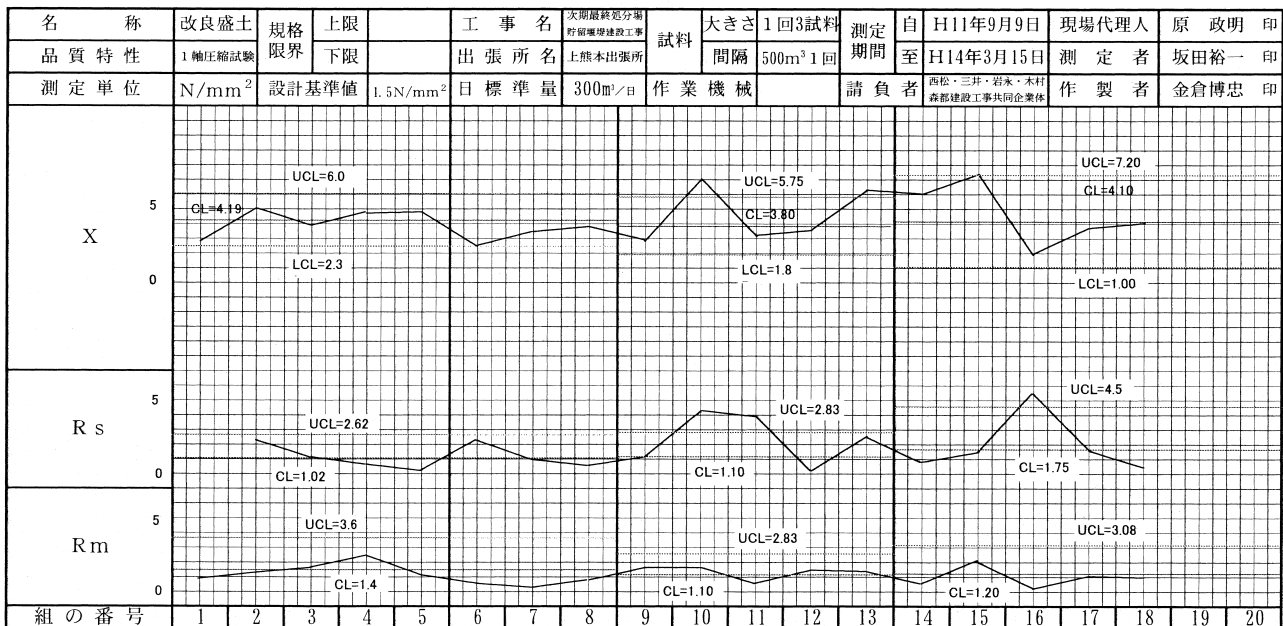


図-5 一軸圧縮強度管理図

d. セメント散布

施工方法は試験施工に準ずる。

セメントローリー車の積載量が10tのため1回当りの改良土量を

$$V = 9,000\text{kg} \div 150\text{kg/m}^3 = 60.0\text{m}^3$$

とした。改良深さを50cmとし相当分の面積にセメントを散布した。

e. 攪拌および積込・運搬

試験施工に準ずる。攪拌状況を写真-2に示す。

f. 下地処理

①岩着部処理

仕上掘削後、岩盤清掃を実施して浮石等を除去すると

ともに盛土基面をドライな状態にした。不陸の大きい箇所は同配合の改良材を充填し、基面を平坦にした。

②施工継目処理

前日の作業から継続して盛土を行う場合は打継目処理としてレイキングを実施した。

水平継目：ブルドーザーにて2cm程度レイキングする

鉛直継目：バックホウより厚さ20cm程度レイキングする

g. 敷均・転圧

試験施工の結果よりブルドーザーによる敷均しおよび振動ローラーによる8回転圧で施工した。



写真-1 骨材製造状況



写真-2 攪拌状況

表-5 平板載荷試験結果

試験位置	試験最大荷重 P (N/mm ²)	許容支持力 q _a (N/mm ²)		最大沈下量 (mm)	地盤反力係数 k _s (MN/m ³)
		長期	短期		
3J4 上流	1.70	0.57	0.85	0.767	2200
3J4 下流	1.70	0.57	0.85	0.482	3540
7J8 上流	1.70	0.57	0.85	0.168	10000
7J8 下流	1.70	0.57	0.85	0.730	2320
9BL 上流	1.70	0.57	0.85	0.558	3040
9BL 下流	1.70	0.57	0.85	0.468	3620

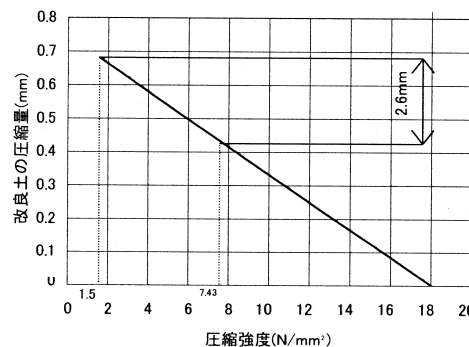


図-6 強度-改良土圧縮量の関係

また、現場混合（スタビライザー）の圧縮強度のばらつきを想定し、指標として変動係数（0.20～0.45）を用い改良体の強度と圧縮量の差を計算すると、図-6から最大で2.6mm圧縮するものと思われる。

4-2 品質管理

品質については表-4の項目について管理した。現場密度についてはRIによる測定を実施したがいずれも規定値を満足している（図-4参照）。

一軸圧縮強度試験について数値のばらつきがあり、混合方式によるものが大きく

- ①セメント散布の不均一
- ②攪拌時の改良ムラ
- ③供試体製作者の個人差

等によるものと思われるが、規格値を満足しており問題ないものとした（図-5参照）。

4-3 効果の検証

盛土完了後、材令7日の改良盛土盤にて支持力特性および圧縮強度を確認するために平板載荷試験を実施した。結果を表-5に表す。各判定基準より、試験最大荷重（1.70N/mm²）内において、明確な極限支持力は認められない。よって、試験最大荷重を極限荷重と見なした場合 q_a=0.57N/mm²となる。変位量も試験最大荷重において最終沈下量0.468mm～0.558mmと小さく総合的に地耐力は十分期待できるものと思われる。

§ 5. まとめ

今回の地盤改良は、試験施工とそれに基づいた施工方法の採用により改良体の圧縮については最大2.6mmとなる。しかし基盤面下7～20mの位置に存在する層厚10m程度のD級岩盤の沈下が予測されるため弾性FEM解析により最終沈下量を算出した。長期的に構造物の沈下があった場合の新幹線トンネル部の沈下量は埋立完了時（平成29年度末）において最大で11.3cmと想定された。このことから堰堤コンクリートと新幹線トンネル間は鉛直方向、水平方向ともに15.0cmの拡幅断面とし最大沈下を起こしても互いの構造物が接することのない構造とした。また、堰堤の不等沈下について各ブロック間には鉛直打継面にせん断キーを施すことで段差を解消させる構造とした。現在、置換工は完了し堰堤構造物を構築中であるが、圧縮による沈下は0mm～1mmであり十分な品質を確保している。

最後に、今回の施工にあたり御指導頂いた関係各位に深く感謝いたします。